



相变石膏板围护结构隔热应用实验研究

张鑫璐¹, 王志毅¹, 徐 迟², 袁丽婷¹

(1. 浙江理工大学建筑工程学院, 杭州 310018; 2. 浙江省建筑设计研究院, 杭州 310006)

摘 要: 为研究相变石膏板围护结构在过渡季节的储热性能, 搭建了两间尺寸相同的实验对比房, 将相变石膏板贴敷于围护结构内侧, 测试对多种工况下实验对比房的室内温度及壁面温度, 通过房间热性能分析探讨其在过渡季节的适用性。石膏板中的相变微胶囊以石蜡(正十八烷)为芯材, 聚甲基丙烯酸甲酯(Polymethyl methacrylate, PMMA)为壁材, 相变温度 28 °C, 相变潜热 180 kJ/kg。在相同的室外气候条件下, 进行一个月的多组工况实验研究, 测试了室内空气温度和墙体表面温度的变化规律, 并与普通房间进行了室内热环境对比分析。结果表明: 相变石膏板热性能稳定; 在杭州地区过渡季节最高可降低室内峰值温度 1.10 °C, 减缓壁面温度波动 1.18 °C, 延迟峰值时间 40 min, 降低室内温度不舒适度 6.82 °C·h/d, 有效缓解了室内的温度波动, 增强了围护结构的热惰性。此外, 与夜间自然通风相比, 相变围护结构在夜间通风的情况下可以减少室内不舒适度时间约 2 h, 减少累计室内温度不舒适度 2.08 °C·h/d, 有效提高室内热舒适性。该研究通过对比实验验证了相变石膏板应用于围护结构的隔热效果, 可为后续模拟研究提供参考。

关键词: 相变材料; 过渡季节; 围护结构; 保温隔热; 热舒适性

中图分类号: TU111.24

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2024)03-0238-07

引文格式: 张鑫璐, 王志毅, 徐迟, 等. 相变石膏板围护结构隔热应用实验研究[J]. 浙江理工大学学报(自然科学), 2024, 51(2): 238-244.

Reference Format: ZHANG Xinlu, WANG Zhiyi, XU Chi, et al. Experimental study on the thermal insulation application of phase-change plasterboard enclosure structure [J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2024, 51(2): 238-244.

Experimental study on the thermal insulation application of phase-change plasterboard enclosure structure

ZHANG Xinlu¹, WANG Zhiyi¹, XU Chi², YUAN Liting¹

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Zhejiang Province Institute of Architectural Design and Research, Hangzhou 310006, China)

Abstract: To study the heat storage performance of the phase-change plasterboard enclosure structure during the transition season, two experimental comparison rooms of the same size were built, the phase-change plasterboard was affixed to the inner side of the enclosure structure to test the indoor temperature and wall temperature of the experimental comparison rooms under various working conditions, and its applicability in the transition season was discussed through the thermal performance analysis of the rooms. To prepare the phase-change micro-capsules in the plasterboard, paraffin (n-octadecane) was used as the core material, and polymethyl methacrylate (PMMA) as the wall material, with the phase-change temperature being 28 °C and phase-change latent heat being 180 kJ/kg. Under the same outdoor climate conditions, a month of multi-group experimental research was carried out. The variation rules of the

收稿日期: 2023-07-23 网络出版日期: 2023-11-02

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LQ22E080021)

作者简介: 张鑫璐(1999—), 女, 浙江海宁人, 硕士研究生, 主要从事建筑节能和建筑热环境方面的研究。

通信作者: 王志毅, E-mail: zywang-wf@163.com

indoor air temperature and wall surface temperature were tested, and the indoor thermal environment was compared with that of ordinary rooms. The results show that the performance of the phase-change plasterboard is stable. When it is applied in Hangzhou during the transition season, the maximum indoor peak temperature can be reduced by $1.10\text{ }^{\circ}\text{C}$, the wall temperature fluctuation can be reduced by $1.18\text{ }^{\circ}\text{C}$, the peak delay time can reach 40 min, and the indoor temperature discomfort can be reduced by $6.82\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h/d}$, which effectively alleviates the indoor temperature fluctuation and enhances the thermal inertia of the enclosure structure. In addition, compared to natural ventilation at night, the phase-change enclosure structure combined with night ventilation can reduce the indoor discomfort time by about 2 hours, reduce the cumulative indoor temperature discomfort by $2.08\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h/d}$, and effectively improve indoor thermal comfort. This study verifies the thermal insulation effect of the phase-change plasterboard applied to the enclosure structure through comparative experiments, which can provide reference for subsequent simulation research.

Key words: phase-change material; transition season; enclosure structure; thermal insulation; thermal comfort

0 引言

我国部分地区过渡季节昼夜温差较大,有比较适宜的室外气象条件;通过利用室外自然条件,被动式设计策略减少人工冷热源的运行时间,可以实现节能减排^[1]。相变材料(Phase-change material, PCM)作为一种新型的潜热储能材料,已经成为国内外的研究热点^[2-3]。相比于相同质量或体积的显热储热材料,相变储能材料可以在很小的温度变化情况下储存较多的热量,因此通过相变储能材料与建筑围护结构的结合,可实现建筑围护结构热能的储存和释放,从而起到节能的效果^[4-5]。

近年来,国内外关于相变石膏板围护结构的研究方式主要采用模拟研究和实验研究。在模拟研究方面,Borreguero等^[6]基于一维傅里叶热传导方程建立数学模型,并使用自制的相变微胶囊石膏板表征实验装置证实了该模型的性能,研究结果表明:相变石膏板应用于围护结构可以有效提高建筑的舒适性,石膏板中每增加质量分数5.0%的相变微胶囊可以减小8.5%的石膏板厚度。张正松等^[7]将相变石膏板安装在轻质保温墙体的外表面以取代传统的保温隔热材料,采用模拟研究方法对不同相变温度墙体内部单位面积的热流密度变化和室内得热量进行对比分析,发现:相变石膏板的最佳相变温度为 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$,此温度下的蓄能墙体能在最大程度上缓解室内空调冷负荷需求。Mohseni等^[8]通过使用DesignBuilder软件模拟研究典型住宅建筑加入相变层后热性能的提升效果,结果发现:加入相变层的模型能够提高室内舒适度,减少热负荷、冷负荷和温度波动;当相变层厚度从5 mm增加至10 mm时,

建筑制冷能耗降低23%,制热能耗降低12%。

在实验研究方面,Beemkumar等^[9]提出了一种新型相变屋顶,通过在屋顶中使用新型PCM聚乙二醇减少建筑物中的温度波动,对比实验发现:相比于未使用PCM的建筑,在屋顶加入相变层可使室内平均峰值温升降低 $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。Kong等^[10]使用石蜡为底材制备了相变温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的相变墙板,贴附于室内墙面和天花板,通过搭建两间相同的实验房测试相变墙板在天津地区夏季的使用效果,实验结果表明:相变墙板与轻质建筑围护结构结合可以被调节室内空气温度,在夏季经过高温循环后下降温效果明显,具有显著的应用潜力。叶海等^[11]为探究相变蓄能围护结构在冬季采暖时节能潜力,在上海搭建了两个实验舱,从热舒适改善等角度进行对比实验,并选取典型气象下的数据进行分析,结果表明:使用PCM可以有效提高墙体的蓄能隔热能力,降低了室内温度波动,热舒适时间有所提高。乔宇豪等^[12]基于相变墙体在双向周期性热作用下的热工性能,在人工模拟气候环境下对比分析了相变墙体不同材料层顺序对其热工性能的影响,结果表明:墙体构造由外向内为“保温材料—基层墙体—相变蓄热层”时内表面蓄热性能较好,可以有效减小室内峰值温度。罗振宇等^[13]将不同相变温度的定型相变板分别应用于轻质实验房南墙内外侧,研究其在武汉地区夏季应用的隔热特性,结果表明:外层定性相变板在夏季发挥作用,能够很好地吸收太阳辐射的热量,可以有效降低室内温度峰值,提高室内环境热舒适性。

PCM作为节能材料应用于建筑,能够在一定程度上调节室内温度,起到改善室内热舒适的作用。但是目前的研究主要关注其在夏季或冬季的应用,

缺少对过渡季节应用效果的关注。本文基于杭州地区过渡季节的气候特点,通过搭建实验对比房,在室外实际气象条件下开展多组工况进行测试,对比分析室内空气温度和墙体表面温度的变化规律,以讨论过渡季节条件下相变石膏板围护结构的传热特性,评估其实际应用效果,为后续模拟研究提供参考。

1 实验设计及气候分析

1.1 实验装置

实验对比房的搭建场所为杭州某大学实验楼南侧,其外观如图 1(a)所示。相变房内壁面及顶面贴满 $300\text{ mm}\times300\text{ mm}\times10\text{ mm}$ 的相变石膏板,对比房内贴有相同尺寸的普通石膏板作为对照。相变石膏板外观如图 1(b)所示,石膏板表面光滑平整,无石蜡泄漏现象。相变石膏板中 PCM 的质量分数为 20%,石膏板中的相变微胶囊以石蜡(正十八烷)为

芯材、聚甲基丙烯酸甲酯(Polymethyl methacrylate,PMMA)为壁材,相变温度为 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$,相变潜热为 180 kJ/kg 。实验对比房均为正南朝向,尺寸均为 1500 mm (长) $\times1500\text{ mm}$ (宽) $\times1500\text{ mm}$ (高),其屋顶结构由外向内分别为 20 mm 水泥砂浆找平层、 30 mm 保温层、 40 mm 混凝土找平层、 20 mm 水泥砂浆找平层、 100 mm 钢筋混凝土屋面板和 10 mm 相变石膏板。外墙围护结构由外向内分别为 110 mm 基层墙体、 20 mm 1:3水泥砂浆和 10 mm 相变石膏板。实验对比房的外墙围护结构和屋顶结构如图 2 所示,其材料的物性参数如表 1 所示。两间实验对比房的南墙开设铝合金玻璃门,尺寸为 $800\text{ mm}\times1000\text{ mm}$ 。北墙开设铝合金玻璃窗,尺寸为 $800\text{ mm}\times1000\text{ mm}$ 。外窗、外门均可开启,可通过开启门窗加强夜间自然通风,最大程度地利用 PCM 的性能。

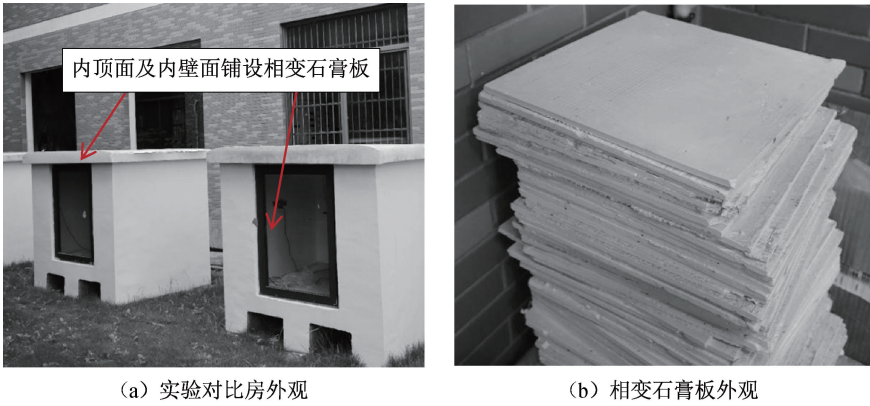
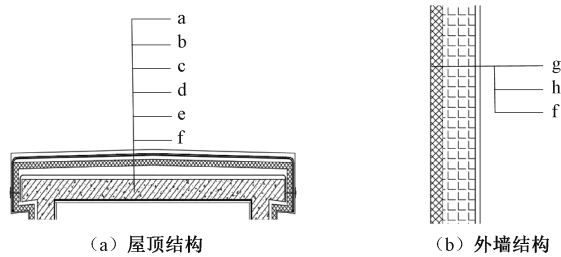


图 1 实验装置及所用材料照片



a. 水泥砂浆找平层; b. 保温层; c. 混凝土找平层; d. 水泥砂浆找平层;
e. 钢筋混凝土屋面板; f. 相变石膏板; g. 基层墙体; h. 1:3水泥砂浆

图 2 实验对比房屋顶和外墙结构示意图

1.2 仪器设备及测点布置

实验所需测量的数据包括 2 个实验对比房内的室内空气温度、内表面壁温、室外空气温度和太阳辐射强度。室内温度及壁面温度由 JHT 蓝牙温湿度计进行测量,分别布置于房间中心位置以及各壁面中心位置,共 12 个。JHT 蓝牙温湿度计的温度测

量范围为 $-40\sim125\text{ }^{\circ}\text{C}$,温度测量精度为 $\pm0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,温度分辨率为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$,采样间隔从 1 min 到 24 h 不等,温度探头防水防腐蚀,具有较强的稳定性。室外空气温度和太阳辐射强度由 PC-4 光伏电站环境监测仪进行测量,监测要素包括太阳总辐射、散射辐射、直接辐射、风向、风速、环境温度等。其中,环境

表 1 材料物性参数

材料	导热系数/ [$\text{W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$]	密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	比热容/ [$\text{J}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$]
水泥砂浆找平层	0.930	1800	840
保温层	0.042	35	1080
混凝土找平层	0.230	800	900
钢筋混凝土屋面板	1.740	2500	920
基层墙体	1.100	1700	1050
石膏板	0.330	1050	1050
正十八烷	0.358(固态), 0.152(液态)	814(固态), 724(液态)	2150(固态), 2180(液态)

温度分辨率为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$, 测量范围 $-50\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, 精度为 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 辐射测量分辨率为 1 W/m^2 , 测量范围 $0\sim 2000\text{ W/m}^2$ 。环境监测仪距地 1.5 m , 放置于实验房东侧空旷无遮蔽位置。蓝牙温湿度计和光伏电站环境监测仪的采样间隔均为 5 min 。

1.3 过渡季节气候分析

在 2023 年 5 月, 对室外天气进行了为期一个月的测试。图 3 为环境监测仪测得的 5 月室外温度和太阳辐射强度的情况。由图 5 可知, 室外温度最低为 $12.09\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最高温度为 $36.26\text{ }^{\circ}\text{C}$, 平均温度为 $21.76\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。昼间平均太阳辐射强度为 289.18 W/m^2 , 最大辐射强度为 882.63 W/m^2 , 测试期间包括晴天、多云、阴雨等不同外部气象条件, 也包括连续降温、连续升温等天气变化, 能够充分体现过渡季节的气候特征。

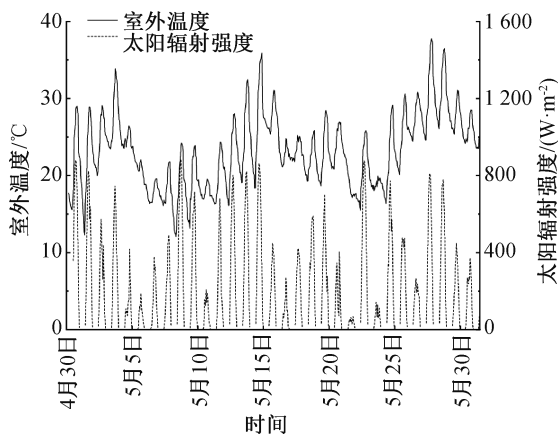


图3 5月室外气温与太阳辐射强度变化曲线

2 实验结果与分析

2.1 典型气候条件下的室内温度对比

过渡季节室外气温变化比较剧烈, 本文选取室外温度为持续降温天气的无相变阶段和持续升温天气的相变阶段进行分析讨论。图 4 所示为两间实验对比房在连续降温工况下的室内外空气温度监测结果。温度采样间隔均为 5 min 。从图 4 中对比可以发现, 5 月 5 日室内温度达到相变条件, 相变房的峰值温度相比于对比房降低了 $0.51\text{ }^{\circ}\text{C}$, 相变石膏板的存在减缓了室内温度的波动, 起到了“削峰填谷”的作用。5 月 6 日—5 月 7 日的室外天气为降温过程, 由于未达到相变温度, 两间实验对比房内的峰值温度几乎相同。当室外气温骤降时, 相变房的降温速率明显低于对比房的降温速率, 温度最大相差 $0.26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这是由于 PCM 具有一定的绝热功能, 使得相变石膏板的蓄热能力高于普通石膏板, 相变石

膏板的存在提高了围护结构的整体保温性能。

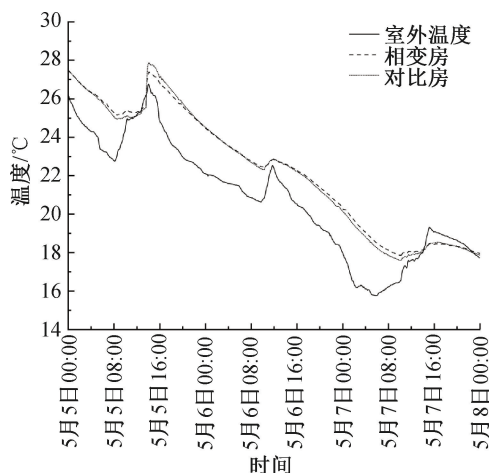


图4 降温工况下室内外温度变化曲线

图 5 为达到相变条件时连续升温天气的室内外空气温度监测结果, 其中温度采样间隔均为 5 min 。在昼间, 当室外温度升高且大于 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 对比房内温度也随即升高, 而相变房由于相变石膏板的相变作用, 吸收室内热量, 减缓了温度上升速率。在 5 月 26 日—5 月 27 日, 相比于对比房, 相变房内的室内峰值温度分别降低了 $0.58\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $0.38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在夜间, 由于 PCM 凝固放热且具有高蓄热能力, 夜间相变房的室内温度下降速率低于对比房, 相变房的最低温度相比于对比房分别高了 $0.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $0.11\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。5 月 28 日室外温度骤升至 $34.26\text{ }^{\circ}\text{C}$, 此时相变房内的 PCM 完全融化, 室内峰值温差达到 $1.10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。5 月 29 日, 室外温度在 $24\sim 34\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内波动, 而室内温度持续处于 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的高温状态, PCM 一直处于熔融状态, 无法进行凝固放热再进行下一次蓄热。因此, 对于持续高温的天气, 需要结合夜间通风使 PCM 凝固放热, 在最大程度上发挥蓄热性能。

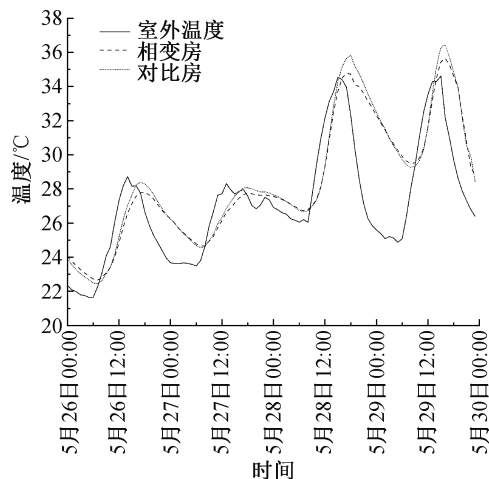


图5 升温工况下室内外温度变化曲线

5月30日昼间,温度持续超过28℃。为探究夜间通风对室内温度的影响效果,在5月30日18:30—5月31日8:00同时打开两间实验对比房的南向玻璃门进行通风。图6为夜间通风工况下的室内、外空气温度监测结果。由图6可知:在18:30之后,经室内、外空气换热,室内温度快速下降;在19:00左右,两间实验对比房的室内温度与室外温度趋于一致。由此可知,相比于5月30日凌晨未通风工况,夜间通风可以将夜间PCM凝固放出的热量散至室外,有效改善室内过热问题,有利于PCM的下次热循环。

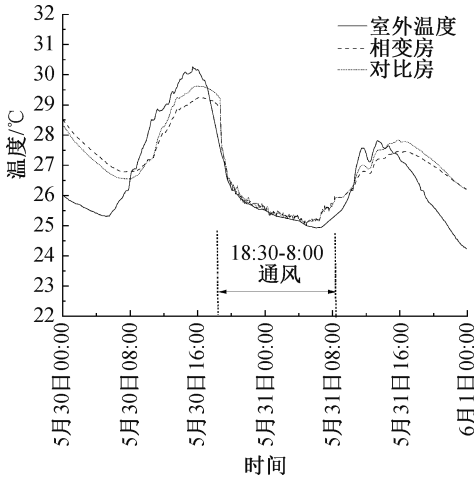


图6 夜间通风工况下室内、外温度变化曲线

2.2 内壁面温度对比分析

选取实验获取的所有壁面温度数据,将顶面和周围4个壁面(共5个面)的温度取平均值,得到壁面平均温度;通过计算得到相变房、对比房以及室外温度的每日温度波动值,结果如图7所示。由图7可知,在31d的实验结果中,相变房的温度波动基本小于对比房的温度波动,相变房最大温度波动为7.70℃,最小温度波动为0.80℃,对比房的最大温度波动为8.50℃,最小温度波动为1.00℃。壁面平均温度波动差最大值出现在5月28日,差值为0.93℃。此外,从图7中可以发现,昼夜温差越大,室内温度波动越大,相变房与对比房的壁面温度波动差值越明显,5月1日、5月9日、5月28日的昼夜温差分别为13.44℃、12.12℃和13.17℃,相变房相比于对比房的壁面温度波动分别降低1.09℃、1.12℃和1.18℃。

2.3 房间热性能分析

为了评价相变墙体对于房间热性能的提升效果,选取5月达到相变条件的时间段,采用时间延迟因子(φ_{PCM})^[14]来评估相变墙体对室内峰值温度的

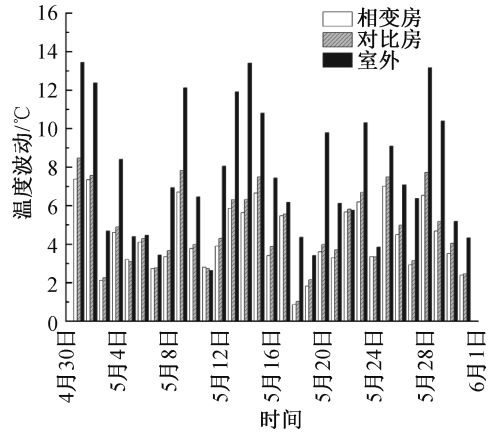


图7 壁面温度波动柱状图

延迟作用,时间延迟因子越大说明相位延迟作用越好。 φ_{PCM} 可用式(1)计算:

$$\varphi_{PCM} = \tau_{PCM, \max} - \tau_{air, \max} \quad (1)$$

其中: $\tau_{PCM, \max}$ 为相变房室内温度达到峰值的时间,min; $\tau_{air, \max}$ 为对比房室内温度达到峰值的时间,min。

采用温度衰减因子(f_{PCM})^[14]比较室内温度波幅的差别,温度衰减因子越大说明相变石膏板的储热效果越明显。 f_{PCM} 可用式(2)计算:

$$f_{PCM} = \frac{t_{PCM, \max} - t_{PCM, \min}}{t_{air, \max} - t_{air, \min}} \quad (2)$$

其中: $t_{PCM, \max}$ 和 $t_{PCM, \min}$ 分别为相变房室内温度的最大值和最小值,℃; $t_{air, \max}$ 和 $t_{air, \min}$ 分别为对比房室内温度的最大值和最小值,℃。

采用累计室内温度不舒适度(I_{DCT})^[15]评价相变墙体对于室内热舒适的调控作用,室内温度不舒适度越小说明相变墙体对于室内热舒适的提升效果越好。 I_{DCT} 可用式(3)计算:

$$I_{DCT} = \int_{24h} (t_{in} - t_d) d\tau, t_{in} > t_d \quad (3)$$

其中: t_{in} 为室内空气温度,℃; t_d 为设定的舒适温度上限,℃。参照GB 50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》,夏季的热舒适温度范围为22~28℃,故本文选择 $t_d=28$ ℃。

图8所示为相变房相比于对比房的时间延迟因子和温度衰减因子计算结果,由图可知:在达到相变条件时,相变房达到峰值温度的时间有明显的推迟效果。由于实验对比房建造在室外露天环境,受室外天气变化影响较大,且每天的相变程度并不相同,因此时间推迟因子不尽相同,推迟时间15~40min不等,平均推迟时间为26min。由图8中温度衰减因子曲线可知,在达到相变条件时,相变房对减小室内温度波幅的作用较为明显,温度衰减系数平均为0.9,最小达到0.83。

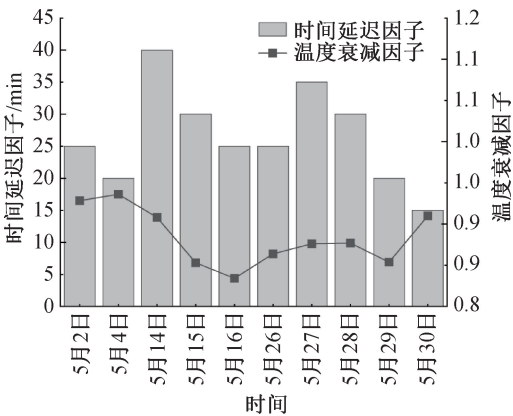


图 8 相变实验房时间衰减因子和温度衰减因子在不同时间的变化曲线

由图 3 可知,5 月 26 日—5 月 29 日为连续升温过程,测试所得室内外温度结果和计算所得到的累

计室内温度不舒适度(I_{DCT})结果列入表 2。结合对比实验房室内温度与累计室内温度不舒适度计算结果可知,5 月 26 日—5 月 27 日相变房的累计室内温度不舒适度都为 0。这是因为相变房达到相变条件,吸收室内热量,抑制了室内温度的上升,使得室内温度均处于热舒适范围,但是与对比房相比,差值分别为 $1.95\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h/d}$ 和 $1.19\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h/d}$,效果不明显。这是由于室内温度超过 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的占比较少,PCM 没有完全发生相变作用,仍有部分 PCM 仍处于固态而未发生吸热过程。5 月 28 日 PCM 完全发生相变,相比于对比房,峰值温度降低 $1.10\text{ }^{\circ}\text{C}$,室内温度不舒适度降低 $6.82\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h/d}$,体现最佳效果。由于 5 月 29 日全天温度超过 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$,全天处于不舒适温度范围,无法体现材料特性。

表 2 室内外温度对比及室内温度不舒适度

日期	测试对象	室外温度/ $^{\circ}\text{C}$			室内温度/ $^{\circ}\text{C}$			$I_{\text{DCT}}/(\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}\cdot\text{d}^{-1})$
		最高	最低	平均	最高	最低	平均	
5 月 26 日	相变房	30.60	20.12	25.32	27.81	22.65	25.13	0
	对比房				28.41	22.41	25.25	1.95
5 月 27 日	相变房	30.81	24.44	27.63	27.73	24.72	26.33	0
	对比房				28.19	24.54	26.48	1.19
5 月 28 日	相变房	37.76	24.59	30.77	35.05	26.73	29.77	62.18
	对比房				36.15	26.66	29.92	69.00
5 月 29 日	相变房	36.47	26.08	30.74	33.83	29.27	31.28	98.95
	对比房				34.45	29.09	31.35	99.89

为探究通风对实验对比房热性能的影响,选择室内峰值温度接近的两天(5 月 16 日未通风、5 月 30 日通风)的室内温度进行进一步的分析讨论,对这两天的室外气候条件进行对比分析,发现:5 月 16 日最高温度为 $30.54\text{ }^{\circ}\text{C}$,最低温度为 $24.84\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均太阳辐射强度为 222.47 W/m^2 ,5 月 30 日最高温度为 $30.26\text{ }^{\circ}\text{C}$,最低温度为 $25.31\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均太阳辐射强度为 232.52 W/m^2 。室内温度结果如图 9 所示,峰值温度差值及室内不舒适度结果如表 3 所示。由图 9 可知,5 月 16 日相变房的室内峰值温度为 $29.16\text{ }^{\circ}\text{C}$,对比房为 $29.48\text{ }^{\circ}\text{C}$,5 月 30 日相变房的室内峰值温度为 $29.24\text{ }^{\circ}\text{C}$,对比房为 $29.72\text{ }^{\circ}\text{C}$,室内外的温度差值均小于 $0.50\text{ }^{\circ}\text{C}$,说明这两天的室外气候条件和室内工况均类似,可以进行对比分析。经统计发现:未通风时,相变房室内温度超过热舒适上限的时间为 9 h,对比房为 9 h 45 min,通风时,相变房室内温度超过热舒适上限的时间为 7 h,对比房为 7 h 15 min。未通风时,由于 PCM 在夜间凝固放热,导致相变房内的最低温度高于对比房,而进行通

风时,空气对流可以加速相变房内的热量散发,减少室内不舒适度时间约 2 h,减少累计室内温度不舒适度 $2.08\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h/d}$,提高了室内热舒适度和 PCM 的使用效率。

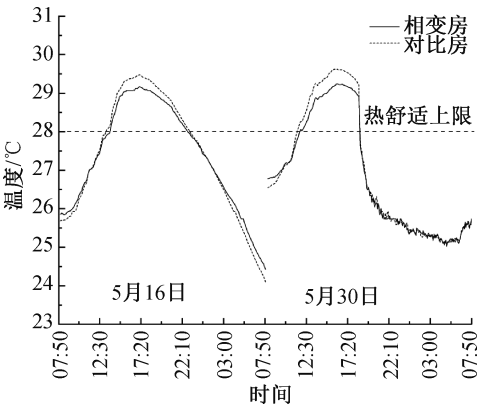


图 9 通风工况和未通风工况室内温度变化曲线

3 结 论

本文搭建了内壁贴敷相变石膏板的实验对比房,开展过渡季节多种工况下的室内温度及壁面温

表 3 通风工况和未通风工况比较

时间	对比房与相变房最高 温度差值/℃	对比房与相变房最低 温度差值/℃	I_{DCT} (相变房)/ (℃·h·d ⁻¹)	I_{DCT} (对比房)/ (℃·h·d ⁻¹)
5 月 16 日(未通风)	0.46	−0.34	7.15	9.24
5 月 30 日(通风)	0.48	0.03	5.07	8.52

度实测研究,通过房间热性能分析探讨其在过渡季节的适用性,研究结论如下:

a)相变房由于相变石膏板的蓄热作用使得围护结构热惰性显著增强,减少了白天进入室内的热量。与对比房相比,相变房不仅可以缓解室内温度波动,还可以降低并延迟室内温度出现的峰值。

b)在过渡季节气昼夜温差大的气候条件下,相变围护结构能有效提高房间热性能,降低室内热不舒适时间,提高室内热舒适性。

c)在过渡季节气连续高温气候条件下,相变围护结构作用不明显,结合夜间通风可以有效改善室内过热问题,最大程度发挥 PCM 作用。

本文通过实验研究仅验证了相变石膏板应用于围护结构在杭州地区过渡季节的隔热效果,对于相变石膏板的优化设计以及在其他地区过渡季节的适用性和经济性有待进一步研究。

参考文献:

[1] Eanest Jebasingh B, Valan Arasu A. A detailed review on heat transfer rate, supercooling, thermal stability and reliability of nanoparticle dispersed organic phase change material for low-temperature applications[J]. Materials Today Energy, 2020, 16: 100408.

[2] 杨茹, 万勇, 杨懿政, 等. 有机相变材料在建筑节能中的应用[J]. 材料导报, 2015, 29(S1): 136-140.

[3] 李琳, 王宇, 钱雯艳, 等. 相变建筑围护结构的应用及传热模拟综述[J]. 化工新型材料, 2022, 50(10): 52-56.

[4] Biswas K, Abhari R. Low-cost phase change material as an energy storage medium in building envelopes: experimental and numerical analyses [J]. Energy Conversion and Management, 2014, 88: 1020-1031.

[5] 吴珣, 户澳文, 徐芳强, 等. 相变储热材料应用于建筑围

护结构的研究现状和发展趋势[J]. 化工新型材料, 2023, 51(3): 25-30.

[6] Borreguero A M, Luz Sánchez M, Valverde J L, et al. Thermal testing and numerical simulation of gypsum wallboards incorporated with different PCMs content [J]. Applied Energy, 2011, 88(3): 930-937.

[7] 张正松, 何嘉鹏, 张博, 等. 相变石膏板应用于外墙表面夏季隔热的相变温度分析[J]. 建筑科学, 2012, 28(6): 102-105, 109.

[8] Mohseni E, Tang W. Parametric analysis and optimisation of energy efficiency of a lightweight building integrated with different configurations and types of PCM[J]. Renewable Energy, 2021, 168: 865-877.

[9] Beemkumar N, Yuvarajan D, Arulprakasajothi M, et al. Control of room temperature fluctuations in the building by incorporating PCM in the roof[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2021, 143(4): 3039-3046.

[10] Kong X F, Yao C Q, Jie P F, et al. Development and thermal performance of an expanded perlite-based phase change material wallboard for passive cooling in building[J]. Energy and Buildings, 2017, 152: 547-557.

[11] 叶海, 王钰君, 钱锋. 相变蓄能围护结构的冬季调温性能实验研究[J]. 建筑科学, 2020, 36(4): 99-106.

[12] 乔宇豪, 鲍嘉阳, 刘衍, 等. 典型外墙构造复合相变层的热工性能研究[J]. 建筑节能, 2020, 48(6): 1-5.

[13] 罗振宇, 朱娜, 胡乃帅, 等. 双层定型相变围护结构夏季热特性实验研究[J]. 建筑科学, 2020, 36(8): 37-42.

[14] Li S H, Zhong K C, Zhou Y Y, et al. Comparative study on the dynamic heat transfer characteristics of PCM-filled glass window and hollow glass window[J]. Energy and Buildings, 2014, 85: 483-492.

[15] 林坤平, 张寅平, 江亿. 夏季“空调”型相变墙热设计方法[J]. 太阳能学报, 2003, 24(2): 145-151.

(责任编辑:康 锋)